
EN MISSION AVEC LES SCIENTIFIQUES DU CEA
les SAVANTURIERS
21
OCTOBRE 2017
TRAITER LES SOLS CONTAMINÉS DE FUKUSHIMA
05
PHYTOREMÉDIATION
des plantes POUR DÉPOLLUER ?
UN POSTER
À TÉLÉCHARGER ET DÉCOUVRIR EN VERSION ANIMÉE
+ INTERVIEWS & CLIP MÉTIER
à retrouver sur cea.fr

On connaît !

PHYTOREMÉDIATION : COMMENT ÇA MARCHE ?

Certaines plantes peuvent absorber ou réduire la toxicité de différents polluants organiques ou de métaux et radioéléments, présents dans les sols. Elles les accumulent, transforment, dégradent, concentrent, stabilisent ou volatilisent... Il s'agit de choisir la stratégie la plus efficace, tout en sachant qu'il est possible de les cumuler.

Phytoextraction

Les racines des plantes extraient les polluants du sol puis les accumulent dans les tiges et les feuilles.

- *Quels polluants concernés ? Métaux (cadmium, zinc, cuivre, or...) et radioéléments (césium, strontium, uranium...)*

Tournesol
Helianthus annuus

Phytostabilisation

Les racines des plantes absorbent et séquestrent les polluants dans le sol, les empêchant de remonter à la surface puis d'être dispersés aux quatre vents ou lessivés par la pluie, et préservent ainsi la chaîne alimentaire et les nappes phréatiques. Lorsque cette stratégie est appliquée dans les lacs et les étangs, elle est alors appelée « rhizofiltration ».

- *Quels polluants concernés ? Arsenic, nickel et radioéléments (uranium)*

Peuplier
Populus

E E E E E E E E

SOLS POLLUÉS !

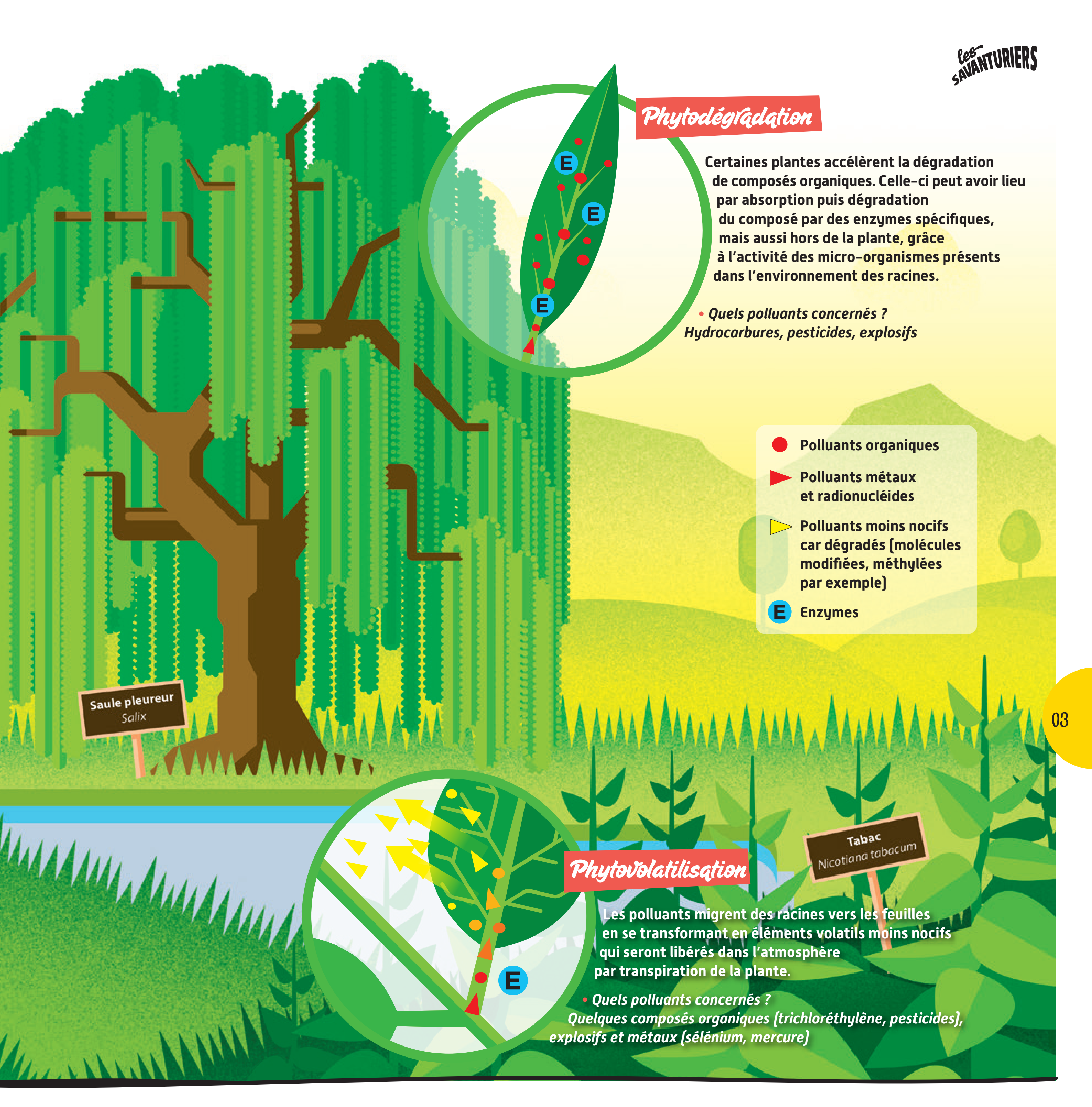
Beaucoup l'ignorent. Les sols des zones industrielles laissées en friche contiennent souvent de nombreux métaux toxiques : plomb, zinc, cadmium... Aujourd'hui, en France, ce sont plus de 300 000 anciens sites métallurgiques, miniers, pétroliers ou chimiques qui sont concernés. Et le problème touche tous les pays industrialisés en Europe, Russie, États-Unis, Chine, Inde, Brésil...

Alors, comment ces terres peuvent-elles redevenir cultivables, habitables ou être transformées en espaces verts d'agrément, sans danger pour les usagers ? Comment leur rendre de la valeur ? De nombreuses méthodes de dépollution existent !

DÉPOLLUER EST OBLIGATOIRE

Selon un décret de septembre 1977, les entreprises ont obligation de remettre en état leurs sites. Depuis 1996, ceux dépourvus de responsables sont pris en charge par l'Ademe*, qui doit en assurer la sécurité, surveiller les éventuels risques de pollution et les nettoyer.

* Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.



DÉPOLLUER : COMMENT ?

Les méthodes les plus utilisées aujourd'hui sont mécaniques et physico-chimiques : excavation, utilisation de solvants et/ou incinération. Elles ne sont menées que sur de petites surfaces fortement contaminées, en raison de leur coût élevé et de leur impact sur le paysage : elles déstructurent les sols et/ou en diminuent fortement la fertilité et la productivité. Leur principal avantage est leur efficacité pour une durée de traitement de quelques semaines à quelques mois.

Une autre méthode, plus récente et écologique, est aussi utilisée : la dépollution naturelle ou bioremédiation. L'élimination des polluants se fait par voie biologique grâce à des organismes vivants (plantes ou micro-organismes). Encore faut-il bien connaître et maîtriser les processus mis en œuvre pour choisir la stratégie la plus adaptée.

LEXIQUE

Composés organiques : Toutes les molécules contenant au moins un atome de carbone lié à un atome d'hydrogène.
La biomasse (plantes et animaux) est composée majoritairement de molécules organiques.



Culture d'*arabidopsis thaliana* en conditions contrôlées dans un phytotron.

Localisation du césium 137 dans les racines et feuilles grâce à un photo-imageur.

LA PHYTOREMÉDIATION, UNE TECHNIQUE SANS BUG ?

Avantages

- Processus naturel
- Coût de traitement peu élevé (10 à 100 fois inférieur aux traitements physico-chimiques)
- Adapté aux grandes surfaces (des dizaines d'hectares)
- Récupération pour traitement spécifique des polluants
- Valorisation possible de la biomasse
- Respect de l'environnement
- Maintien de la structure des sols

Limites

- Temps de traitement long (3 ans environ, selon la croissance des plantes)
- Profondeur de traitement liée à la longueur des racines (50 cm à 3 m)
- Contaminations modérées (il faut que les plantes survivent)

Les scientifiques ont encore des recherches à mener pour dépasser ces limites. Ils doivent en effet relever 5 défis majeurs.

– Réduire les durées de traitement.
– Gérer des cas de contamination multiple.
– Mieux prendre en compte les différents paramètres environnementaux : pluie, température…
– Mieux valoriser la biomasse.
– Créer de la valeur avec les métaux extraits.

Alors, comment faire ? Choisir au mieux les plantes candidates, en fonction de plusieurs critères : leur tolérance, leur productivité, leur système racinaire et les modes de culture. Ils cherchent aussi à les sélectionner afin que certains gènes ne s'expriment plus ou, au contraire, s'expriment mieux.

VALORISER LES DÉCHETS : QUELLES OPTIONS ?

Excaver les terres contaminées génère de très gros volumes de déchets qui sont entreposés longtemps avant leur traitement dans des installations existantes. Si les techniques retenues sont la phytostabilisation et la phytoextraction, il faut prévoir de traiter les plantes contaminées ; sinon, la pollution finira par revenir dans les sols !
Des solutions sont à l'étude : la biomasse, brûlée dans des chaudières équipées de systèmes de filtration adaptés, permet de produire chaleur et électricité.



Chef de l'Institut biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille

PIERRE CHAGUARDIEFF

FORMATION

BAC S

CLASSES PRÉPARATOIRES BIOLOGIE

ÉCOLE D'INGÉNIEUR AGRONOME DE RENNES

UNIVERSITÉ D'ORSAY : THÈSE EN GÉNÉTIQUE DES PLANTES

VOUS ÊTES TRÈS MOTIVÉ, POUVEZ-VOUS NOUS DIRE POURQUOI ?

Découvrir les capacités extraordinaires du monde vivant à s'adapter et, côté applicatif, comment il peut contribuer à dépolluer au mieux l'environnement ; c'est exaltant !

DES APPLICATIONS EXISTENT-ELLES DÉJÀ ?

Oui. Par exemple, une start-up issue du CEA vient d'être créée pour commercialiser une méthode originale : des bactéries dégradent, lors du rinçage des cuves, les produits phytosanitaires (pesticides, herbicides) utilisés par les agriculteurs.

Suite à l'accident de Fukushima, les autorités françaises ont favorisé tous les projets innovants de traitement des retombées radioactives. La biodépollution, méthode moins intrusive et moins dégradante pour l'environnement, trouve sa place parmi ceux-ci. Nous avons monté le projet Demeterres pour dépolluer les sols et les eaux contaminés par du césium et du strontium. Depuis plus de 3 ans, nous avons développé et breveté un concept en laboratoire, qui a été retenu par le ministère de l'Environnement japonais. Il sera mis en œuvre pour le traitement des millions de m^3 de terres excavées à Fukushima.

« La phytoremédiation doit créer de la valeur économique et sociétale. »

Des équipes partiront à l'automne 2017 pour faire la démonstration de l'efficacité de cette technologie. Elles réaliseront des essais sur des sacs de terre contaminée ; ce sera un travail technique, scientifique et conforme aux règlements et consignes de sécurité en vigueur sur place.

LA BIODÉPOLLUTION EST UNE MÉTHODE D'AVENIR, MAIS RESTE-T-IL DES VERROUS ?

Les méthodes biologiques sont douces, contrairement aux physico-chimiques. Grâce aux plantes et bactéries, elles permettent de diminuer progressivement la concentration en métaux lourds, pesticides, radionucléides… Pour accélérer les transferts et les rendre plus efficaces, les défis sont nombreux : mieux comprendre et identifier les verrous… et les surmonter grâce aux technologies les plus modernes, notamment génétiques.

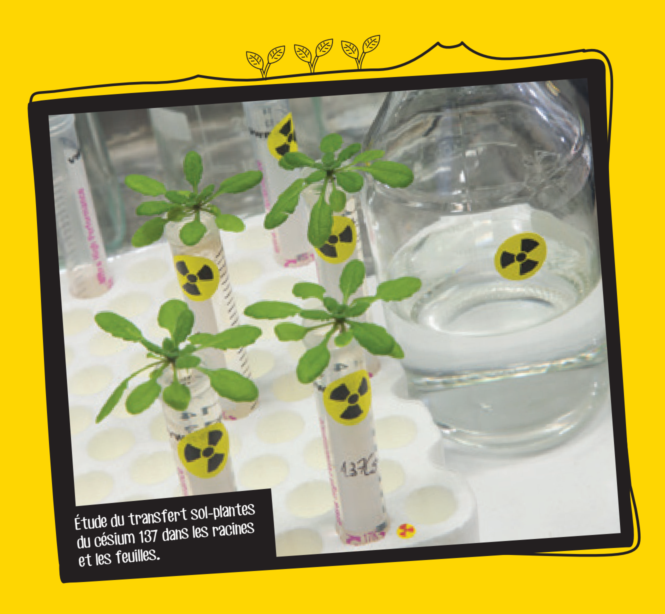
Au-delà des procédés, il faut créer de la valeur économique et sociétale autour de ces terres dépolluées et valoriser les déchets récupérés. ●





TRAITER LES SOLS CONTAMINÉS DE FUKUSHIMA

Le 11 mars 2011, un tremblement de terre et un tsunami ont touché les côtes japonaises et entraîné la fusion du cœur des réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima. Sur un rayon de 20 km, les terres contaminées ont été excavées. Les volumes considérables de déchets restent à traiter et les sols ne sont pas encore prêts pour un usage agricole… sans compter l'atteinte à la valeur culturelle du paysage et les populations évacuées qui ne peuvent rentrer chez elles. Cette situation a conduit le CEA, avec l'Inra, l'IRSN et le Cirad*, à monter le programme Demeterres de réhabilitation des sols et effluents contaminés en césium 137 et strontium 90, utilisant des technologies de bioremédiation (bactéries et plantes). Veolia et Areva ont pris le relais jusqu'au stade préindustriel. Le ministère japonais de l'Environnement a sélectionné une des technologies de ce programme ; des chercheurs se rendront sur site dès la fin de 2017.



Étude du transfert sol-plantes du césium 137 dans les racines et les feuilles.

Demeterres : Développement de méthodes bio et écotechnologiques pour la remédiation raisonnée des effluents et des sols en appui à une stratégie de réhabilitation post-accidentelle.

* Inra : Institut national de la recherche agronomique.

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

comment on fait



« Utiliser des plantes pour dépolluer : une stratégie de développement durable ! »

FORMATION

BAC S

CLASSE PRÉPARATOIRE MATHS SUP BIOLOGIE

UNIVERSITÉ : THÈSE EN BIOPHYSIQUE

POST-DOC À L'UNIVERSITÉ DE SAN DIEGO (ÉTATS-UNIS)

EST-CE UNE VOCATION ? QU'EST-CE QUI VOUS PASSIONNE ?

J'ai une passion pour la Nature ; les végétaux étaient là bien avant nous et sont essentiels à la vie sur Terre. Ma vocation date des cours de SVT en 3e. J'ai la chance de pouvoir faire aujourd'hui le métier que j'aime. Aborder les thématiques environnementales, améliorer des procédés de phytoremédiation, c'est passionnant ! À l'ère du changement climatique, de l'écophysiologie et du développement durable… la phytoremédiation est un enjeu important pour l'avenir de la planète !

COMMENT MENEZ-VOUS VOS RECHERCHES ?

Au sein de l'équipe, laborantins, techniciens, ingénieurs et de nombreux étudiants développent ensemble des protocoles expérimentaux. Nous recherchons, dans la biodiversité des espèces agricoles ou via des lignées mutées, des plantes qui permettront d'améliorer les procédés de phytoextraction des métaux et des polluants.

Nous travaillons aussi sur la question de la sécurité alimentaire. Nous essayons d'élaborer des plantes qui n'absorberont pas d'éléments toxiques, ou ne les accumuleront pas dans leurs grains. Nos recherches actuelles concernent le riz et le blé, sur des sols pollués en césium.

RESTE-T-IL DES CHOSES À DÉCOUVRIR ?

La phytoremédiation est une science complexe. Nous travaillons sur 3 stratégies. La première : modifier la sélectivité des protéines qui sont capables d'absorber et de transporter les ions, par exemple pour qu'une plante n'absorbe que du potassium et pas de césium. La deuxième porte sur l'architecture des racines, qui récupèrent les nutriments en superficie du sol ou en profondeur. Il faut choisir les plantes adaptées à la contamination. Par exemple, comme le césium s'accumule sur les 10 premiers centimètres, il faut des plantes qui se nourrissent en profondeur. Enfin, on étudie les exsudats racinaires (les ions acides rejetés par les plantes) pour déterminer leur biodisponibilité dans les sols.

EST-CE UNE VOIE D'AVENIR ?

Oui ! D'ailleurs, de nombreuses entreprises se tournent vers ces procédés propres. Le plus connu est appliqué dans les piscines biologiques dont l'eau est filtrée par rhizofiltration ; un procédé naturel remplaçant le chlore. •



RETROUVEZ L'INTÉGRALITÉ DE L'INTERVIEW SUR cea.fr

DES BOÎTES-À-GANTS

De nombreux organismes de recherche travaillent sur les problématiques de biodécontamination : Ineris*, Inra, CEA, IRSN, Cirad, universités…
Au CEA, les recherches portent principalement sur une meilleure connaissance des mécanismes mis en œuvre par les plantes et micro-organismes lorsqu'elles sont mises en présence de métaux, radionucléides et nanoparticules. Les chercheurs étudient les facteurs qui déterminent l'accumulation, la biotransformation et la toxicité de ces éléments.
Les équipes sont principalement implantées sur les centres CEA de Cadarache et Grenoble. À Cadarache, elles disposent d'une plateforme d'expérimentation végétale en conditions contrôlées : Phytotec. Ses dispositifs expérimentaux leur permettent d'étudier autant la plante modèle *arabidopsis thaliana* que le blé, la tomate, le maïs… et, plus spécifique aux études de phytoremédiation, le riz. D'autres équipes de recherche s'intéressent aussi à la moutarde indienne, l'ivraie, le lupin, le quinoa…

* Ineris : Institut national de l'environnement industriel et des risques.



Chambres de culture automatisées dans le hall de la plateforme Phytotec.

AUX CHAMPS

Le protocole expérimental suit toujours les mêmes étapes



Thierry observe des pieds d'*arabidopsis thaliana* génétiquement modifiés et cultivés en conditions contrôlées dans ce phytotron. Après la floraison, chaque pied est mis en sachet afin de récolter les graines.



Arnaud éclaircit des semis de colza dans une chambre de culture où l'ensemble des paramètres de l'environnement (lumière, température, humidité, composition de l'atmosphère gazeuse) sont mesurés et régulés en permanence.

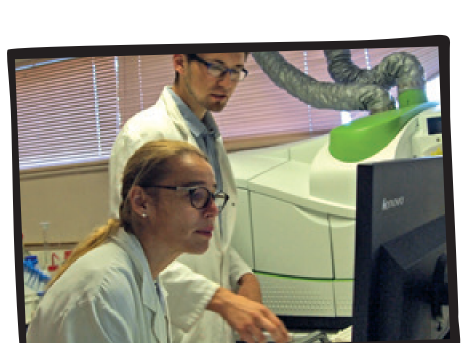
Léonard prélève des échantillons de feuilles pour analyse.



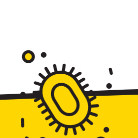
Catherine observe, grâce à un photo-imageur, le transfert sol-plantes et la localisation du césium dans les racines et les feuilles.



Silvain procède à la minéralisation des échantillons. L'acide détruit toutes les molécules organiques. Après une nuit en étuve à 80 °C, les polluants sont prêts à être dosés.



Nathalie et Silvain lancent l'opération de dosage sur un spectromètre de masse à plasma à couplage inductif.



DES PLANTES, MAIS AUSSI DES BACTÉRIES ET DES CHAMPIGNONS

Outre les plantes, d'autres organismes vivants participent à la dépollution de molécules organiques ou non, qui présentent un risque pour l'environnement. Ce sont des bactéries ou des champignons, présents naturellement ou injectés dans les sols pollués. Plusieurs candidats existent : *pseudomonas* pour les nitrates et les hydrocarbures, *moraxella* pour les phosphates, *enterobacter* pour les pesticides… Une bactérie, *microbacterium sp. A9*, est même capable de piéger l'uranium en le minéralisant !

Une algue verte unicellulaire a été découverte dans une piscine d'entreposage de combustible irradié à Grenoble. Elle a résisté à une dose extrême de rayonnement, 2 000 fois supérieure à celle qui entraînerait la mort chez l'homme. *Coccomyxa actinabiotis* est aussi capable de capter et concentrer les métaux, les lanthanides et les actinides… autant de caractéristiques qui permettront de l'utiliser comme décontaminant d'effluents nucléaires.



Didier utilise des bactéries pour leur faire produire des peptides ayant une affinité spécifique pour un métal donné. Utilisés dans un système de filtration, ces peptides permettront de dépolluer les eaux contaminées.



ZOOM

Arabidopsis thaliana

UNE PLANTE MODÈLE ? OUI, GRÂCE À SON PETIT GÉNOME, CONNU ET SÉQUENCÉ DEPUIS L'AN 2000. ELLE EST PAR EXEMPLE UTILISÉE POUR L'ÉTUDE DE L'ABSORPTION ET LA TRANSLOCATION DU CÉSIUM.

LEXIQUE

Actinides : Famille du tableau périodique comprenant les 15 éléments chimiques allant de l'actinium (n° 89) au lawrencium (n° 103). Ce sont des métaux lourds radioactifs.

Lanthanides : Famille du tableau périodique comprenant les 15 éléments allant du lanthane (n° 57) au lutécium (n° 71). Ils font partie des terres rares.

Minéraliser : Transformer un composé organique en substances minérales par l'action d'un acide.

Phytotron : Installation de recherche en biologie végétale ; ce sont des pièces aveugles où tous les paramètres environnementaux sont contrôlés : humidité, température, éclairement artificiel.

Translocation : Processus de transfert du polluant, des feuilles vers les autres organes de la plante.

POUR EN SAVOIR PLUS SUR LA PHYTOREMÉDIATION : DES RESSOURCES DIGITALES SUR

cea.fr/go/savanturiers

TÉLÉCHARGEZ !

Le magazine en version pdf.

VISITE GUIDÉE DU LABORATOIRE

par Nathalie Leonhardt.

INTERVIEW

Pierre Chagvardieff – Chef de l'Institut biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille.

QUIZ

ANIMATION + POSTER TÉLÉCHARGEABLE

Phytoextraction, phytostabilisation, phytovolatilisation et phytodégradation : découvrez en détail ces quatre stratégies efficaces et qui peuvent se cumuler.

ABONNEZ-VOUS ! AU MAGAZINE les SAVANTURIERS

Phytoremédiation : des plantes pour dépolluer

Les Savanturiers N° 21 – Parution : Septembre 2017

Certaines plantes peuvent absorber ou réduire la toxicité de différents polluants organiques ou de métaux et radioéléments, présents dans les sols. Elles les accumulent, transforment, dégradent, concentrent, stabilisent ou volatilisent…
Les équipes du CEA cherchent à comprendre et à améliorer les propriétés de ces plantes afin de redonner de la valeur économique et sociétale aux sols pollués.

PHYTOREMÉDIATION : COMMENT ÇA MARCHE ?

SITES

CEA :
www.cea.fr

CEA jeunes :
www.cea.fr/jeunes

CEA Enseignants :
www.cea.fr/enseignants

Institut des biosciences et biotechnologies d'Aix-Marseille :
biam.cea.fr/drf/biam

Les Savanturiers :
cea.fr/go/savanturiers



Éditeur :
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives,
RCS Paris B 775 685 019

Directeur de la publication :
Xavier Clément

Conseiller scientifique :
Pierre Chagvardieff

Ont participé à ce numéro :
Silvain Demann, Thierry Desnos, Florence Klotz, Véronique Lamare, Lucia Le Clech, Nathalie Leonhardt, Didier Marcellin, Catherine Sarrobert.

Infographie : Antoine Levesque -

Crédits : P. Dumas/CEA - M. Klotz Thinkstock

Animation : Gary Levesque

Création, réalisation : Alexandre Cheyrou

Impression : Valblor - Septembre 2017 - ISSN 2271-6262



Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous empruntions le titre de son émission.